

14.10.98

日 本 国 特 許 庁

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

REC'D 30 OCT 1998

WIPO

PCT

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日

Date of Application: 1998年 6月29日

出 願 番 号

Application Number:

平成10年特許願第199829号

出 願 人

Applicant(s):

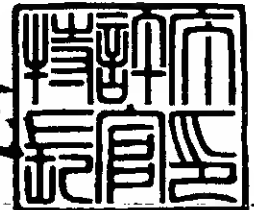
日亜化学工業株式会社

PRIORITY DOCUMENT

1998年 8月28日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

伴佐山 建志



出証番号 出証特平10-3069314

【書類名】 特許願

【整理番号】 161570

【提出日】 平成10年 6月29日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 3/18

【発明の名称】 窒化物半導体素子

【請求項の数】 17

【発明者】

【住所又は居所】 徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

【氏名】 丸居 宏充

【発明者】

【住所又は居所】 徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

【氏名】 三谷 友次

【発明者】

【住所又は居所】 徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

【氏名】 谷沢 公二

【発明者】

【住所又は居所】 徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

【氏名】 向井 孝志

【発明者】

【住所又は居所】 徳島県阿南市上中町岡491番地100 日亜化学工業株式会社内

【氏名】 中村 修二

【特許出願人】

【識別番号】 000226057

【住所又は居所】 徳島県阿南市上中町岡491番地100

【氏名又は名称】 日亜化学工業株式会社

【代理人】

【識別番号】 100074354

【弁理士】

【氏名又は名称】 豊栖 康弘

【選任した代理人】

【識別番号】 100091465

【弁理士】

【氏名又は名称】 石井 久夫

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 平成 9年特許願第235524号

【出願日】 平成 9年 9月 1日

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 平成 9年特許願第286304号

【出願日】 平成 9年10月20日

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願日】 平成10年 6月 8日

【整理番号】 161400

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9607770

【包括委任状番号】 9714020

【書類名】 明細書

【発明の名称】 窒化物半導体素子

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板と活性層の間に、少なくとも一方には n 型不純物がドーピングされた第 1 と第 2 の窒化物半導体層を含む複数の層が積層された超格子層を備えたことを特徴とする窒化物半導体素子。

【請求項 2】 前記第 1 と第 2 の窒化物半導体層は互いに同一組成の窒化物半導体からなり互いに不純物濃度が異なる請求項 1 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 3】 前記第 1 と第 2 の窒化物半導体層のうちの一方には n 型不純物がドーピングされ他方には n 型不純物がドーピングされていない請求項 1 又は 2 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 4】 前記 n 型不純物がドーピングされた一方の層の厚さを、前記 n 型不純物がドーピングされていない層より薄くした請求項 3 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 5】 前記第 1 と第 2 の窒化物半導体層はそれぞれ、Ga N からなり、前記 n 型不純物が Si である請求項 2 ～ 4 のうちのいずれか 1 つに記載の窒化物半導体素子。

【請求項 6】 前記超格子層は、前記活性層と接するように形成されている請求項 1 ～ 5 のうちのいずれか 1 つに記載の窒化物半導体素子。

【請求項 7】 前記超格子層を n 電極が形成される n 電極形成層として備えたことを特徴とする請求項 1 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 8】 前記第 1 の窒化物半導体層と前記第 2 の窒化物半導体層とは、互いに異なるバンドギャップエネルギーと互いに異なる n 型不純物濃度とを有する請求項 7 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 9】 前記第 1 の窒化物半導体層と前記第 2 の窒化物半導体層のうちのバンドギャップエネルギーの大きい方の層に n 型不純物が多くドーピングされている請求項 8 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 10】 前記第 1 の窒化物半導体層と前記第 2 の窒化物半導体層のうちのバンドギャップエネルギーの小さい方の層に n 型不純物が多くドーピングされている請求項 8 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 11】 前記第 1 の窒化物半導体層と前記第 2 の窒化物半導体層とは互いに異なるバンドギャップエネルギーを有し、かつ一方の層には n 型不純物がドーピングされ、他方の層には n 型不純物がドーピングされていない請求項 7 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 12】 前記第 1 の窒化物半導体層と前記第 2 の窒化物半導体層のうちのバンドギャップエネルギーの大きい方の層に n 型不純物がドーピングされている請求項 11 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 13】 前記第 1 の窒化物半導体層と前記第 2 の窒化物半導体層のうちのバンドギャップエネルギーの小さい方の層に n 型不純物がドーピングされている請求項 11 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 14】 前記 n 電極形成層は、n 型不純物濃度が互いに異なる他は互いに同一の組成を有する第 1 と第 2 の窒化物半導体層を含む層が積層されてなる請求項 11 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 15】 前記第 1 の窒化物半導体層と前記第 2 の窒化物半導体層のうちの一方には n 型不純物がドーピングされていない請求項 14 記載の窒化物半導体素子。

【請求項 16】 前記第 1 と第 2 の窒化物半導体層のうち n 型不純物を多く含む層の n 型不純物濃度が $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上に設定されている請求項 7 ~ 15 のうちのいずれか 1 つに記載の窒化物半導体素子。

【請求項 17】 前記超格子層に接して前記活性層が形成されている請求項 7 ~ 16 のうちのいずれか 1 つに記載の窒化物半導体素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は発光ダイオード素子、レーザダイオード素子等の発光素子、太陽電池、光センサ等の受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイスに用いられる窒化物半導体 ($\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$, $0 \leq x$, $0 \leq y$, $x+y \leq 1$) よりなる素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

窒化物半導体は高輝度純緑色発光LED、青色LEDとして、既にフルカラーLEDディスプレイ、交通信号灯、イメージスキャナー光源等の各種光源で実用化されている。これらのLED素子は基本的に、サファイア基板上にGaNよりなるバッファ層と、SiドープGaNよりなるn側コンタクト層と、単一量子井戸構造のInGaN、あるいはInGaNを有する多重量子井戸構造の活性層と、MgドープAlGaNよりなるp側クラッド層と、MgドープGaNよりなるp側コンタクト層とが順に積層された構造を有しており、20mAにおいて、発光波長450nmの青色LEDで5mW、外部量子効率9.1%、520nmの緑色LEDで3mW、外部量子効率6.3%と非常に優れた特性を示す。

【0003】

また、本出願人はこの材料を用いてパルス電流下、室温での410nmの発振を世界で初めて発表した（例えば、Jpn. J. Appl. Phys. 35 (1996) L74、Jpn. J. Appl. Phys. 35 (1996) Lz17等）。このレーザ素子は、InGaNを用いた多重量子井戸構造（MQW: Multi-Quantum-Well）の活性層を有するダブルヘテロ構造を有し、パルス幅2 μ s、パルス周期2msの条件で、閾値電流610mA、閾値電流密度8.7kA/cm²、410nmの発振を示す。また、本出願人は室温での連続発振にも初めて成功し、発表した。（例えば、日経エレクトロニクス1996年12月2日号技術速報、Appl. Phys. Lett. 69 (1996) 8034-、Appl. Phys. Lett. 69 (1996) 4056-等）、このレーザ素子は20℃において、閾値電流密度3.6kA/cm²、閾値電圧5.5V、1.5mW出力において、27時間の連続発振を示す

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

このように窒化物半導体はLEDで既に実用化され、LDでは数十時間ながら連続発振にまで至っているが、LEDを例えば照明用光源、直射日光の当たる屋外ディスプレイ等に使用するためにはさらに出力の向上が求められている。しか

しながら、高出力を得ようとすれば、静電耐圧が悪化する等十分な信頼性を確保することが困難であった。またLDでは閾値を低下させて長寿命にし、光ピックアップ、DVD等の光源に実用化するためには、よりいっそうの改良が必要である。また前記LED素子は20mAにおいてVfが3.6V近くある。Vfをさらに下げることにより、素子の発熱量が少なくなつて、信頼性が向上する。またレーザ素子では閾値における電圧を低下させることは、素子の寿命を向上させる上で非常に重要である。本発明はこのような事情を鑑みて成されたものであつて、その目的とするところは、主としてLED、LD等の窒化物半導体素子の出力を向上させると共に、Vf、閾値電圧を低下させかつ静電耐圧特性を向上させて素子の信頼性を向上させることにある。

【0005】

【課題を解決するための手段】

以上の目的を達成するために、本発明に係る窒化物半導体素子は、基板と活性層の間に、少なくとも一方にはn型不純物がドーピングされた第1と第2の窒化物半導体層を含む複数の層が積層された超格子層を備えたことを特徴とする。

このようにすると、前記超格子層を結晶欠陥の少ない結晶性の良好な層とでき、これによって上方に成長される活性層の結晶性を良好にできる。

ここで、本明細書において、超格子層又は超格子構造とは、互いに組成が異なる少なくとも2種類の窒化物半導体層が積層されてなる多層膜、及び互いに同一組成を有しかつn型不純物が互いに異なる濃度でドーピングされた2種類の層が積層された多層膜の双方を含むものとする。また、超格子構造とは膜厚100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは50オングストローム以下の窒化物半導体層を多層膜構造に積層した構造を指すものとする。

【0006】

前記本発明の窒化物半導体素子においては、前記超格子層をより結晶欠陥の少ない層としかつ上方に成長される活性層の結晶性をより良好にするために、前記第1と第2の窒化物半導体層は互いに同一組成の窒化物半導体からなり互いに不純物濃度が異なる層であることが好ましい。

【0007】

前記本発明の窒化物半導体素子においては、前記超格子層をさらに結晶欠陥の少ない層としかつ上方に成長される活性層の結晶性をさらに良好にするために、前記第1と第2の窒化物半導体層のうち的一方にはn型不純物がドーピングされ他方にはn型不純物がドーピングされていないことが好ましい。

【0008】

前記本発明の窒化物半導体素子においては、静電耐圧特性を良好にするために、前記n型不純物がドーピングされた一方の層の厚さを、前記n型不純物がドーピングされていない層より薄くすることが好ましい。

【0009】

前記本発明の窒化物半導体素子において、記第1と第2の窒化物半導体層をそれぞれ、GaNとし、前記n型不純物をSiとすることができ、このようにするとInを含む活性層を結晶性よく成長させることができる。

【0010】

前記本発明の窒化物半導体素子においては、結晶性の良い活性層を成長させる機能を効果的に発揮させるために、前記超格子層は前記活性層と接するように形成されていることが好ましい。

【0011】

本発明に係る窒化物半導体素子は、前記超格子層をn電極が形成されるn電極形成層として備えていてもよく、このようにすると、比較的キャリア濃度の高かつn電極と良好なオーミック接触させることができるn電極形成層を形成できる。

【0012】

また、本発明のn電極形成層として超格子層を備えた窒化物半導体素子において、n電極形成層は、互いに異なるバンドギャップエネルギーと互いに異なるn型不純物濃度とを有する第1と第2の窒化物半導体層で形成することができる。

この場合、前記第1の窒化物半導体層と前記第2の窒化物半導体層のうちのバンドギャップエネルギーの大きい方の層にn型不純物を多くドーピングするようにしても良いし、バンドギャップエネルギーの小さい方の層にn型不純物を多くドー

プするようにしてもよい。

【0013】

また、本発明の n 電極形成層として超格子層を備えた窒化物半導体素子においては、互いに異なるバンドギャップエネルギーを有し、かつ一方の層には n 型不純物がドーピングされ他方の層には n 型不純物がドーピングされていない第 1 と第 2 の窒化物半導体層を用いて n 電極形成層を形成することが好ましい。

【0014】

この場合、前記第 1 の窒化物半導体層と前記第 2 の窒化物半導体層のうちのバンドギャップエネルギーの大きい方の層に n 型不純物をドーピングするようにしてもよいし、バンドギャップエネルギーの小さい方の層に n 型不純物をドーピングするようにしてもよい。

【0015】

ここで、n 型不純物がドーピングされていない層とは、意図的に n 型不純物をドーピングしないで形成した層を指し、例えば、原料に含まれる不純物の混入、反応装置内のコンタミネーションによる不純物の混入、および意図的に不純物をドーピングした他の層からの意図しない拡散により不純物が混入した層も含まれる。

【0016】

また、本発明の n 電極形成層として超格子層を備えた窒化物半導体素子において、前記 n 電極形成層は、n 型不純物濃度が互いに異なる他は互いに同一の組成を有する第 1 と第 2 の窒化物半導体層を含む層を積層することにより形成することもできる。

この場合、前記第 1 の窒化物半導体層と前記第 2 の窒化物半導体層のうちの一方には n 型不純物がドーピングされていないことが好ましい。

【0017】

さらに、本発明の n 電極形成層として超格子層を備えた窒化物半導体素子において、n 電極形成層のキャリア濃度を高くするために、前記第 1 と第 2 の窒化物半導体層のうち n 型不純物を多く含む層の n 型不純物濃度は $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上に設定されていることが好ましい。これによって、n 電極とのより良好なオーミック接触が得られる。

【0018】

また、本発明のn電極形成層として超格子層を備えた窒化物半導体素子において、前記超格子層に接して前記活性層が形成されていることが好ましい。

【0019】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明に係る実施の形態の窒化物半導体発光素子について説明する。

(実施の形態1)

図1は実施の形態1に係る一窒化物半導体発光素子の模式的断面図であり、該窒化物半導体発光素子は、活性層と基板との間に形成される、n電極が形成されるn電極形成層4を、第1の窒化物半導体層4aと第2の窒化物半導体層4bが交互に積層された超格子構造としたことを特徴とする。これによって、本実施の形態1の窒化物半導体発光素子は、n電極形成層を極めて欠陥の少ない結晶性の良い層とすることができ、しかもその抵抗値を低くできるので、発光素子の順方向電圧 V_f を低くできるという優れた特性を有する。また、本実施の形態1では、基板1とn電極形成層4との間にアンドープ窒化物半導体層3を形成することによりn電極形成層の結晶性をさらに良好なものとし、n電極形成層4の上にアンドープ窒化物半導体層5を形成しその層5の上に活性層6を形成することにより、活性層6の結晶性を良好なものにしている。尚、アンドープ窒化物半導体層3、5は本発明において必須の要件ではない。

【0020】

本実施の形態1において、n電極形成層はn型不純物を含む超格子構造のn型窒化物半導体としている。n型不純物としては第4族元素が挙げられるが、好ましくはSi若しくはGe、さらに好ましくはSiを用いる。このように超格子構造とすると、その超格子層を構成する第1と第2の窒化物半導体層の各膜厚が弾性臨界膜厚以下となるために、結晶欠陥の非常に少ない窒化物半導体を成長させることができる。さらに、この超格子構造のn電極形成層により下の層（例えば、アンドープ窒化物半導体層3）で発生している結晶欠陥をある程度止めることができるため、n電極形成層の上に成長させる活性層の結晶性を良くすることができる。

できる。さらに、n電極形成層には特筆すべき作用としてはHEMTに類似した効果がある。

【0021】

このn電極形成層4は、互いにバンドギャップエネルギーの異なる第1の窒化物半導体層4aと第2の窒化物半導体層4bとを積層して構成することができ、この場合、第1の窒化物半導体層4aと第2の窒化物半導体層4bとは互いに不純物濃度が異なることが好ましい。第1の窒化物半導体層及び第2の窒化物半導体層の各膜厚は、好ましくは100オングストローム以下、さらに好ましくは70オングストローム以下、最も好ましくは10～40オングストロームの膜厚に調整する。100オングストロームよりも厚いと、第1と第2の窒化物半導体層が弾性歪み限界に近い又はそれ以上の膜厚となり、膜中に微少なクラック、あるいは結晶欠陥が入りやすい傾向にある。また、本発明は第1と第2の窒化物半導体層の膜厚の下限值によって限定されるものではなく1原子層以上であればよいが、前記のように10オングストローム以上が最も好ましい。

【0022】

さらに第1と第2の窒化物半導体層のうちバンドギャップエネルギーの大きい方の窒化物半導体層（以下、実施の形態1の説明においては、第1の窒化物半導体層のバンドギャップエネルギーの方が、第2の窒化物半導体層より大きいものとして説明する。）は、少なくともAlを含む窒化物半導体、好ましくは $Al_xGa_{1-x}N$ （ $0 < x \leq 1$ ）若しくはGaNを成長させて形成することが望ましい。一方、バンドギャップエネルギーの小さい方の第2の窒化物半導体層は、第1の窒化物半導体層よりもバンドギャップエネルギーが小さい窒化物半導体であればどのようなものでも良いが、好ましくは $Al_yGa_{1-y}N$ （ $0 \leq y < 1$ 、 $x > y$ ）、 $In_zGa_{1-z}N$ （ $0 \leq z < 1$ ）のような2元混晶、3元混晶の窒化物半導体が成長させやすく、また結晶性の良いものが得られやすい。

またさらに好ましくは、バンドギャップエネルギーの大きな第1の窒化物半導体層は実質的にInを含まない $Al_xGa_{1-x}N$ （ $0 < x < 1$ ）とし、バンドギャップエネルギーの小さな第2の窒化物半導体層は実質的にAlを含まない $In_zGa_{1-z}N$ （ $0 \leq z < 1$ ）とする。その中でも結晶性に優れた超格子を得る目的

で、第1の窒化物半導体層としてAl混晶比(Y値)0.3以下の $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x \leq 0.3$)を用い、第2の窒化物半導体層としてGa₂Nを用いる組み合わせ、又は高不純物濃度のGa₂Nと低不純物濃度若しくはアンドープのGa₂Nの組み合わせが最も好ましい。

【0023】

n電極形成層を、光閉じ込め層、及びキャリア閉じ込め層としてクラッド層として機能させる場合、n電極形成層として活性層の井戸層よりもバンドギャップエネルギーの大きい窒化物半導体を成長させる必要があり、バンドギャップエネルギーの大きな窒化物半導体層としてAl混晶比の高い窒化物半導体が使用される。このAl混晶比の高い窒化物半導体を、光閉じ込め層、及びキャリア閉じ込め層として機能させることができる比較的厚く成長させると、成長させた層にクラックが入りやすくなるため、結晶性の良好な層を形成することが非常に難しかった。しかしながら本発明のように超格子層にすると、超格子層を構成する単一層(第1の窒化物半導体層)をAl混晶比の多少高い層としても、弾性臨界膜厚以下の膜厚で成長させているのでクラックが入りにくい。そのため、本発明によれば全体としてAl混晶比の高い層を結晶性良く成長することができるので、光閉じ込め、キャリア閉じ込め効果が高い層とでき、レーザ素子では閾値電圧、LED素子ではV_f(順方向電圧)を低下させることができる。

【0024】

さらに、上述したように、このn電極形成層のバンドギャップエネルギーの大きな第1の窒化物半導体層とバンドギャップエネルギーの小さな第2の窒化物半導体層とのn型不純物濃度が異なることが好ましいが、これはいわゆる変調ドープと呼ばれるもので、一方の層のn型不純物濃度を小さく、好ましくは不純物をドーピングしない状態(アンドープ)として、もう一方を高濃度にドーピングすると、閾値電圧、V_f等を低下させることができるからである。すなわち、超格子層中の不純物濃度の低い層では移動度を大きくでき、また不純物濃度の高い層ではキャリア濃度を高くできることにより、超格子層全体として、キャリア濃度を高くかつ移動度を大きくできる。つまり、不純物濃度が低い移動度の高い層と、不純物濃度が高いキャリア濃度が大きい層とが同時に存在することにより、キャリア濃

度が大きく、移動度も大きいn電極形成層をクラッド層として用いることにより、閾値電圧、 V_f を低下させることができるものと推察される。尚、本明細書において、アンドープ (undoped) の窒化物半導体層とは意図的に不純物をドーピングしない窒化物半導体層を指し、例えば、原料に含まれる不純物の混入、反応装置内のコンタミネーションによる不純物の混入、および意図的に不純物をドーピングした他の層からの意図しない拡散により不純物が混入した層も本発明ではアンドープと定義する (実質的なアンドープ)。

【0025】

また、バンドギャップエネルギーの大きな第1の窒化物半導体層に高濃度の不純物をドーピングした場合、この変調ドーピングにより高不純物濃度層 (第1の窒化物半導体層) と、低不純物濃度層 (第2の窒化物半導体層) との間に2次元電子ガスができ、この2次元電子ガスの影響により抵抗率が低下すると推察される。例えば、n型不純物がドーピングされたバンドギャップの大きい第1の窒化物半導体層と、バンドギャップが小さいアンドープの第2の窒化物半導体層とを積層した超格子層では、n型不純物を添加した層と、アンドープの層とのヘテロ接合界面で、障壁層 (第1の窒化物半導体層) 側が空乏化し、バンドギャップの小さい層側の厚さ前後の界面に電子 (2次元電子ガス) が蓄積する。この2次元電子ガスがバンドギャップの小さい側にできるので、電子が走行するときに不純物による散乱を受けないため、超格子の電子の移動度が高くなり、抵抗率が低下する。

なおp側の窒化物半導体層を超格子構造とし変調ドーピングしても同様に2次元正孔ガスによる効果が期待できるものと推察される。またp層の場合、AlGaNはGaNに比較して抵抗率が高い。そこでAlGaNの方にp型不純物を多くドーピングすることにより抵抗率を低下させることができると考えられ、より効果的に順方向電圧又は閾値電圧電流を低下させることができると推察される。

【0026】

また、p側の窒化物半導体層を超格子構造とし、バンドギャップエネルギーの小さな窒化物半導体層に高濃度の不純物をドーピングした場合、以下のような作用があると推察される。例えばAlGaN層とGaN層にMgを同量でドーピングした場合、AlGaN層ではMgのアクセプタ準位の深さが大きく、活性化率が小さい

。一方、Ga₂N層のアクセプタ準位の深さはAlGa₂N層に比べて浅く、Mgの活性化率は高い。例えばMgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしてもGa₂Nでは $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 程度のキャリア濃度であるのに対し、AlGa₂Nでは $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 程度のキャリア濃度しか得られない。そこで、本発明ではAlGa₂N/Ga₂Nとで超格子とし、高キャリア濃度が得られるGa₂N層の方に多く不純物をドープすることにより、高キャリア濃度の超格子が得られるものである。しかも超格子としているため、トンネル効果でキャリアは不純物濃度の少ないAlGa₂N層を移動するため、実質的にキャリアはAlGa₂N層の作用は受けず、AlGa₂N層はバンドギャップエネルギーの高いクラッド層として作用する。従って、バンドギャップエネルギーの小さな方の窒化物半導体層に不純物を多くドープしても、レーザ素子、LED素子の閾値を低下させる上で非常に効果的である。なおこの説明はp型層側に超格子を形成する例について説明したが、n層側に超格子を形成する場合においても、同様の作用効果がある。

【0027】

バンドギャップエネルギーが大きい第1の窒化物半導体層にn型不純物を多くドープする場合、バンドギャップエネルギーの大きな第1の窒化物半導体層への好ましいドープ量としては、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ 、さらに好ましくは $1 \times 10^{18} / \text{cm}^3 \sim 5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ の範囲に調整する。 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ よりも少ないと、バンドギャップエネルギーの小さな第2の窒化物半導体層との差が少なくなって、キャリア濃度の大きい層が得られにくい傾向にあり、また $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ よりも多いと、素子自体のリーク電流が多くなりやすい傾向にある。一方、バンドギャップエネルギーの小さな第2の窒化物半導体層のn型不純物濃度はバンドギャップエネルギーの大きな第1の窒化物半導体層よりも少なければ良く、好ましくは $1 / 10$ 以上少ない方が望ましい。最も好ましくはアンドープとすると最も移動度の高い層が得られるが、膜厚が薄いため、バンドギャップエネルギーの大きな第1の窒化物半導体側から拡散してくるn型不純物があり、その量は $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ 以下が望ましい。n型不純物としてはSi、Ge、Se、S、O等の周期律表第IVB族、VIB族元素を選択し、好ましくはSi、Ge、Sをn型不純物とする。この作用は、バンドギャップエネルギー

ーが大きい第1の窒化物半導体層にn型不純物を少なくドーピングして、バンドギャップエネルギーが小さい第2の窒化物半導体層にn型不純物を多くドーピングする場合も同様である。以上、超格子層に不純物を好ましく変調ドーピングする場合について述べたが、バンドギャップエネルギーが大きい第1の窒化物半導体層とバンドギャップエネルギーが小さい第2の窒化物半導体層との不純物濃度を等しくすることもできる。

また、第1と第2の窒化物半導体層のうち、n型不純物を多く含む層のn型不純物濃度は $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ 以上に設定されていることが好ましく、これによって、n電極形成層4のキャリア濃度を高くでき、n電極と良好なオーミック接触をさせることができる。

【0028】

本実施の形態1において、アンドープ窒化物半導体層3は、n型不純物を含むn電極形成層4をさらに結晶性よく成長させるためにアンドープとしている。この窒化物半導体層3はアンドープであることが最も好ましいが、n電極形成層4を超格子構造とすることにより結晶性の良好な層としているので、n型不純物がn電極形成層よりも少なくなるようにドーピングした層を用いてもよい。尚、n型不純物としては第4族元素が挙げられるが、好ましくはSi若しくはGe、さらに好ましくはSiを用いる。

【0029】

また、本実施の形態1の発光素子では、n電極形成層4上にアンドープ窒化物半導体層5を形成し、該層5の上に活性層6を形成している。このアンドープ窒化物半導体層5は、その上に成長させる活性層6のパッファ層として作用して、活性層を成長させやすくする。すなわち、超格子層の上に直接不純物を多く含む窒化物半導体層を成長させると、成長させる層の結晶性が悪くなる傾向があるので、層5を結晶性良く成長させるためにはn型不純物濃度を少なくすることが好ましく、最も好ましくはアンドープとするのである。

さらに抵抗率の比較的高いアンドープ窒化物半導体層5を活性層6とn電極形成層4との間に介在させることにより、素子のリーク電流を防止し、逆方向の耐圧を高くすることができる。このアンドープ窒化物半導体層5の上述の機能を効

果的に発揮させるためには、この層5はアンドープであることが最も好ましいが、 n 型不純濃度が n 電極形成層4よりも少ない層であれば、上述の機能は発揮し得る。

また、アンドープ窒化物半導体層5の組成は特に問うものではないが、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 \leq x \leq 1$)、好ましくは、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($0 < x \leq 0.5$)を成長させることにより、その窒化物半導体層5の上に成長させる層に対してより有効なバッファ層として作用して、さらに層5から上の層を容易にかつ結晶性よく成長させることができる。

【0030】

さらにまた、本実施の形態1の窒化物半導体発光素子において、アンドープ窒化物半導体層5は、 $0.5 \mu\text{m}$ 以下の厚さに形成することが好ましく、より好ましくは 2000 オングストローム以下、さらに好ましくは 1500 オングストローム以下になるように形成する。また、層5の下限は特に限定しないが 10 オングストローム以上に調整することが望ましい。アンドープ窒化物半導体層は、抵抗率が通常 $1 \times 10^{-1} \Omega \cdot \text{cm}$ 以上と高いため、この層を $0.1 \mu\text{m}$ よりも厚い膜厚で成長させると、逆に順方向電圧 V_f が低下しにくくなる。

【0031】

また本実施の形態1の窒化物半導体発光素子では、基板とアンドープ窒化物半導体層3との間に、アンドープ窒化物半導体層3よりも低温で成長されるバッファ層を有していても良い。バッファ層は例えば AlN 、 GaN 、 AlGaN 等を $400^\circ\text{C} \sim 900^\circ\text{C}$ において、 $0.5 \mu\text{m}$ 以下の膜厚で成長させることができ、基板と窒化物半導体との格子不整合を緩和、あるいはアンドープ窒化物半導体層を結晶性よく成長させるための下地層として作用する。

【0032】

(実施の形態2)

本発明に係る実施の形態2の窒化物半導体発光素子は、図3に示すように活性層44の直下に接して超格子構造の n 型超格子層43を形成したことを特徴とし、これによって、結晶性の優れた活性層44を形成することができ、高出力特性と優れた静電耐圧特性が実現できる。

すなわち、上述の実施の形態1は窒化物半導体からなるn型の超格子層が優れたn型電極形成層として機能することに着目したものであるのに対し、実施の形態2の窒化物半導体発光素子は、n型超格子層43上に結晶性の優れた活性層44を成長させることができることに着目して利用したものである。

【0033】

詳細に説明すると、実施の形態2の窒化物半導体発光素子において、基板1上にバッファ層2及び例えばアンドープのGa_{0.5}N_{0.5}からなるアンドープ窒化物半導体層41を介して、例えばn型のGa_{0.5}N_{0.5}からなるn電極形成層42を形成する。そして、n電極形成層42上に、n型超格子層43を介して活性層44を形成する。さらに、活性層44上に、例えば、Mgドープのp側クラッド層（p型Al_{0.5}Ga_{0.5}N層）45、Mgドープのp型Ga_{0.5}N_{0.5}からなるp側コンタクト層46を介して透光性p電極9及びpパッド電極を形成する。

【0034】

ここで、n型超格子層43は、第1の窒化物半導体層43aと第2の窒化物半導体層43bとが交互に積層された超格子構造を有し、全体としてn型の導電性を有しかつ極めて良好な結晶性を有する。尚、本実施の形態2において、n型不純物としては第4族元素が挙げられるが、好ましくはSi若しくはGe、さらに好ましくはSiを用いる。このn型超格子層43は、その超格子層を構成する第1と第2の窒化物半導体層の各膜厚が弾性臨界膜厚以下となるために、結晶欠陥の非常に少ない層とできる。すなわち、本実施の形態2では、この結晶性の良好なn型超格子層43によって、そのn型超格子層43より下のn電極形成層42で発生した結晶欠陥をある程度止めることができ、この機能によって、n型超格子層43上に成長させる活性層44の結晶性を良くすることができる。

一般にn電極形成層42は、低抵抗とするためにn型不純物を多くドープするために、比較的多くの結晶欠陥を含む。従って、n電極形成層42と活性層44との間にn型超格子層43を形成することは、結晶性の良好な活性層44を形成する上で極めて効果的である。

【0035】

この第1の窒化物半導体層43a及び第2の窒化物半導体層43bの各膜厚は

、好ましくは100オングストローム以下に調整する。100オングストロームよりも厚いと、第1と第2の窒化物半導体層が弾性歪み限界に近い又はそれ以上の膜厚となり、膜中に微少なクラック、あるいは結晶欠陥が入りやすくなるからである。

このn型超格子層43は、互いに組成の異なる第1の窒化物半導体層43aと第2の窒化物半導体層43bを用いて構成してもよいが、互いに同一組成を有しかつ一方をアンドープ又は低いn型不純物濃度とし他方を高いn型不純物濃度とした第1と第2の窒化物半導体層を用いて構成することが好ましく、さらに好ましくは、第1と第2の窒化物半導体層を互いに同一組成とし、一方をアンドープとし他方にn型不純物をドーピングしたものを用いる。さらに、第1と第2の窒化物半導体層を、一方をアンドープとし他方にn型不純物をドーピングして用いる場合、n型不純物をドーピングした他方の層は、アンドープの一方の層より薄くすることが好ましく、これによりさらに超格子層自身の結晶性を良好にできかつその上に成長させる活性層の結晶性をさらに良好にできる。

また、発光層としてInGaNとGaNとの多重量子井戸構造の活性層44を用いる場合、n型不純物がドーピングされたGaNとアンドープのGaNとの組み合わせたn型超格子層43を用いることが最も好ましい。

尚、本明細書において、超格子層とは互いに同一組成を有しかつ互いに不純物濃度が異なる第1と第2の窒化物半導体層とを交互に積層した層も含むものとする。

【0036】

さらに本発明において、第1と第2の窒化物半導体層とは、互いにバンドギャップエネルギーが異なってもよく、第1と第2の窒化物半導体層として互いにAlの含有量が異なる窒化物半導体、又は一方を $Al_xGa_{1-x}N$ ($0 < x \leq 1$)とし他方をGaNとする組み合わせ等、実施の形態1におけるn型電極形成層4と同様、種々組み合わせて用いることができる。

【0037】

以上のように構成された実施の形態2の窒化物半導体発光素子は、高濃度にn型不純物がドーピングされているため比較的多くの結晶欠陥を含むn型電極形成層4

2 上に、結晶性のよい n 型超格子層 4 3 を介して活性層 4 4 を形成している。これによって、実施の形態 2 の窒化物半導体発光素子では、n 型電極形成層 4 2 の結晶欠陥の影響を受けることなく、層数が多くかつ結晶性のよい量子井戸構造の活性層 4 4 を形成することができるので、静電耐圧を悪化させることなく高出力を得ることができる。

【0038】

以上説明した実施の形態 2 の窒化物半導体発光素子では、n 型電極形成層 4 2 に接して n 型超格子層 4 3 を形成し、n 型超格子層 4 3 に接して活性層 4 4 を形成した。しかしながら、本発明はこれに限らず、n 型電極形成層 4 2 との間及び n 型超格子層 4 3 と活性層 4 4 との間のいずれか一方又は双方に 1 又は 2 以上の窒化物半導体層を有していてもよい。以上のように構成しても、実施の形態 2 と同様の作用効果を有する。

【0039】

(実施の形態 3)

本発明に係る実施の形態 3 の窒化物半導体発光素子は、図 4 に示すように実施の形態 2 の n 電極形成層 4 2 及び n 型超格子層 4 3 とに代えて、n 型超格子層 5 3 を形成した以外は実施の形態 2 と同様に構成される。

すなわち、実施の形態 3 の窒化物半導体発光素子において、n 型超格子層 5 3 は、実施の形態 1 における超格子構造の n 電極形成層 4 の機能と実施の形態 2 における n 型超格子層 4 3 の機能とを併せ持つ超格子層である。

ここで、本実施の形態 3 において、n 型超格子層 5 3 を構成する第 1 の窒化物半導体層 5 3 a 及び第 2 の窒化物半導体層 5 3 b とはそれぞれ、実施の形態 1、2 の第 1 及び第 2 の窒化物半導体層と同様に構成される。

【0040】

以上のように構成された実施の形態 3 の窒化物半導体発光素子は、低抵抗でかつ n 型電極と良好なオーミック接触が可能で、しかも結晶性がよく層数の多い量子井戸構造の活性層を成長させることができる n 型超格子層 5 3 を備えている。従って、実施の形態 3 の窒化物半導体発光素子は、比較的低い順方向電圧で静電耐圧を悪化させることなく高出力を得ることができる。

【0041】

以上の実施の形態1～3では、LED素子を例に挙げて説明したが、本発明はレーザダイオードにも適用することができることは言うまでもなく、その場合においても、実施の形態1～3と同様の効果を有する。

【0042】

【実施例】

【実施例1】

図1は本発明の一実施例に係るLED素子の構造を示す模式的な断面図であり、以下この図を元に、本発明の素子の製造方法について述べる。

【0043】

サファイア（C面）よりなる基板1を反応容器内にセットし、容器内を水素で十分置換した後、水素を流しながら、基板の温度を1050℃まで上昇させ、基板のクリーニングを行う。基板1にはサファイアC面の他、R面、A面を主面とするサファイア、その他、スピネル（ $MgAl_2O_4$ ）のような絶縁性の基板の他、SiC（6H、4H、3Cを含む）、Si、ZnO、GaAs、GaN等の半導体基板を用いることができる。

【0044】

（バッファ層2）

続いて、温度を510℃まで下げ、キャリアガスに水素、原料ガスにアンモニアとTMG（トリメチルガリウム）とを用い、基板1上にGaNよりなるバッファ層2を約200オングストロームの膜厚で成長させる。

【0045】

（アンドープ窒化物半導体（GaN）層3）

バッファ層2成長後、TMGのみ止めて、温度を1050℃まで上昇させる。1050℃になったら、同じく原料ガスにTMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaN層3を5μmの膜厚で成長させる。アンドープGaN層3はバッファ層よりも高温、例えば900℃～1100℃で成長させる。このアンドープGaN層3の膜厚は特に問うものではなく、バッファ層よりも厚膜で成長させ、通常0.1μm以上の膜厚で成長させる。この層はアンドープ層としたため真性半

導体に近く、抵抗率は $0.2\Omega\cdot\text{cm}$ よりも大きい、Si、Ge等のn型不純物をn電極形成層よりも少なくドーピングして抵抗率を低下させた層としても良い。

【0046】

(n電極形成層4)

続いて 1050°C で、TMG、アンモニアガスを用い、アンドープGaN層を20オングストローム成長させ、続いて同濃度にてシランガスを追加しSiを $1\times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーピングしたGaN層を20オングストロームの膜厚で成長させ、そしてSiを止めてアンドープGaN層を60オングストロームの膜厚で成長させる。このようにして、20オングストロームのアンドープGaN層からなる第1の窒化物半導体層と、SiドーピングGaNからなる60オングストロームの第2の窒化物半導体層とからなるペアを成長させる。そしてペアを250層積層して $2\mu\text{m}$ 厚として、超格子構造よりなるn電極形成層4を成長させる。

【0047】

(活性層6)

次に、温度を 800°C にして、キャリアガスを窒素に切り替え、TMG、TM I (トリメチルインジウム)、アンモニアを用いアンドープ $\text{In}_{0.4}\text{Ga}_{0.6}\text{N}$ 層を30オングストロームの膜厚で成長させて単一量子井戸構造を有する活性層6を成長させる。なおこの層は InGa N よりなる井戸層を有する多重量子井戸構造としても良い。

【0048】

(p側クラッド層7)

次に、温度を 1050°C に上げ、TMG、TMA、アンモニア、 $\text{Cp}2\text{Mg}$ (シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $1\times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドーピングしたp型 $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなるp側クラッド層7を $0.1\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。この層はキャリア閉じ込め層として作用し、Alを含む窒化物半導体、好ましくは $\text{Al}_Y\text{Ga}_{1-Y}\text{N}$ ($0<Y<1$)を成長させることが望ましく、結晶性の良い層を成長させるためにはY値が0.3以下の $\text{Al}_Y\text{Ga}_{1-Y}\text{N}$ 層を $0.5\mu\text{m}$ 以下の膜厚で成長させることが望ましい。

また、p側クラッド層7が超格子層であってもよく、p側層に超格子層がある

と、レーザ素子を作製した場合は閾値を低くでき、発光ダイオードでは発光開始電圧を低くできるので好ましい。p側層において超格子層となりうる層は特に限定されない。

【0049】

(p側コンタクト層8)

続いて1050℃で、TMG、アンモニア、 $\text{Cp}^*\text{2Mg}$ を用い、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Ga_xNよりなるp側コンタクト層8を0.1μmの膜厚で成長させる。p側コンタクト層8も $\text{In}_x\text{Al}_y\text{Ga}_{1-x-y}\text{N}$ ($0 \leq x, 0 \leq y, x+y \leq 1$)で構成でき、その組成は特に問うものではないが、好ましくはGa_xNとすると結晶欠陥の少ない窒化物半導体層が得られやすく、またp電極材料と好ましいオーミック接触が得られやすい。

【0050】

反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーハを反応容器内において、700℃でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。

【0051】

アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層8の表面に所定の形状のマスクを形成し、RIE（反応性イオンエッチング）装置でp側コンタクト層側からエッチングを行い、図1に示すようにn電極形成層4の表面を露出させる。

【0052】

エッチング後、最上層にあるp側コンタクト層のほぼ全面に膜厚200オングストロームのNiとAuを含む透光性のp電極9と、そのp電極9の上にボンディング用のAuよりなるpパッド電極10を0.5μmの膜厚で形成する。一方エッチングにより露出させたn電極形成層4の表面にはWとAlを含むn電極11を形成する。最後にp電極9の表面を保護するためにSiO₂よりなる絶縁膜12を図1に示すように形成した後、ウェーハをスクライブにより分離して350μm角のLED素子とする。

【0053】

このLED素子は順方向電圧20mAにおいて、520nmの純緑色発光を示

し、サファイア基板上に GaN よりなるバッファ層と、Si ドープ GaN よりなる n 側コンタクト層と、単一量子井戸構造の InGa_{0.5}N よりなる活性層と、Mg ドープ AlGa_{0.5}N よりなる p 側クラッド層と、Mg ドープ GaN よりなる p 側コンタクト層とが順に積層された従来の緑色発光 LED に比較して、20mA における V_f を 0.2~0.4V 低下させ、出力を 40%~50% 向上させることができた。また、静電耐圧も従来の LED 素子に比較して 5 倍以上であった。

【0054】

【実施例 2】

実施例 1 の発光素子において、n 電極形成層 4 と活性層 6 との間に、アンドープ窒化物半導体 (GaN) 層 5 を 500 オングストロームの膜厚で形成した以外は、実施例 1 と同様に作成した。

すなわち、実施例 2 では n 電極形成層 4 を形成した後、シランガスのみを止め、1050℃ で同様にしてアンドープ GaN 層を 500 オングストロームの膜厚で成長させ、次いで活性層 6 を成長させる。

以上のように形成した発光素子は、超格子層である n 電極形成層 4 の上に直接活性層を成長させたものに比較して、アンドープ GaN 層がバッファ層として作用するので、活性層の結晶性を良くすることができ、実施例 1 に比較して出力を 20% 向上させることができた。

【0055】

【実施例 3】

実施例 1 において n 電極形成層 4 を成長させる際に、アンドープ GaN 層よりなる第 1 の窒化物半導体層を 40 オングストロームと、Si を $3 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした Al_{0.1}Ga_{0.9}N 層からなる第 2 の窒化物半導体層を 60 オングストロームとを 300 層ずつ交互に積層して、総膜厚 3 μm の超格子構造とする他は実施例 1 と同様にして LED 素子を得たところ、実施例 1 とほぼ同等の特性を有する LED 素子が得られた。

———【0056】

【実施例 4】

図 2 は本発明の他の実施例に係るレーザ素子の構造を示す模式的な断面図であ

り、レーザの共振面に平行な方向で素子を切断した際の図を示している。以下、この図を元に実施例 4 について説明する。

【0057】

実施例 1 と同様にして、サファイア（C 面）よりなる基板 20 の上に、200 オングストロームの GaN よりなるバッファ層 21、5 μm のアンドープ GaN 層 22、20 オングストロームのアンドープ GaN からなる第 1 の窒化物半導体層と、20 オングストロームの Si ドープの $\text{Al}_{0.1}\text{Ga}_{0.9}\text{N}$ よりなる第 2 の窒化物半導体層とが積層されてなり総膜厚 3 μm の超格子構造の n 電極形成層 23 を成長させる。

【0058】

なお、サファイア基板の他、基板にはサファイアのような窒化物半導体と異なる材料よりなる基板の上に第 1 の GaN 層を成長させ、その第 1 の GaN 層の上に、 SiO_2 等、窒化物半導体が表面に成長しにくい保護膜を部分的に形成し、さらにその保護膜を介して、前記第 1 の GaN 層の上に第 2 の GaN を成長させ、 SiO_2 の上に第 2 の GaN 層を横方向に成長させて、横方向で第 2 の GaN 層が繋がって第 2 の GaN 層を基板とした窒化物半導体基板を用いることが窒化物半導体の結晶性を良くする上で非常に好ましい。この窒化物半導体基板を基板とする場合にはバッファ層を特に成長させる必要はない。

【0059】

（アンドープ窒化物半導体層 24）

次に温度を 800℃ にして TMI、TMG、アンモニアを用いアンドープ $\text{In}_{0.05}\text{Ga}_{0.95}\text{N}$ よりなるアンドープ窒化物半導体層を 500 オングストロームの膜厚で成長させる。

【0060】

（n 側クラッド層 25）

次に、1050℃ にして、Si を $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープした n 型 $\text{Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}$ 層、20 オングストロームと、アンドープ（undoped）GaN 層、20 オングストロームとを交互に 200 層積層してなる総膜厚 0.8 μm の超格子構造とする。n 側クラッド層 254 はキャリア閉じ込め層、及び光閉じ込め層

として作用し、Alを含む窒化物半導体、好ましくはAlGa_{0.8}Nを含む超格子層とすることが望ましく、超格子層全体の膜厚を100オングストローム以上、2 μm以下、さらに好ましくは500オングストローム以上、2 μm以下で成長させることが望ましい。さらにまた、このn側クラッド層の中央部の不純物濃度を大きくして、両端部の不純物濃度を小さくすることもできる。

【0061】

(n側光ガイド層26)

続いて、Siを $5 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ ドープしたn型Ga_{0.8}Nよりなるn側光ガイド層26を0.1 μmの膜厚で成長させる。このn側光ガイド層26は、活性層の光ガイド層として作用し、Ga_{0.8}N、InGa_{0.8}Nを成長させることが望ましく、通常100オングストローム～5 μm、さらに好ましくは200オングストローム～1 μmの膜厚で成長させることが望ましい。このn側光ガイド層5は通常はSi、Ge等のn型不純物をドープしてn型の導電型とするが、特にアンドープにすることもできる。

【0062】

(活性層27)

次に、800℃で、25オングストロームの厚さのアンドープIn_{0.2}Ga_{0.8}Nよりなる井戸層と、50オングストロームの厚さのアンドープIn_{0.01}Ga_{0.99}Nよりなる障壁層とを交互に積層してなる総膜厚200オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層27を成長させる。すなわち、この活性層27は、障壁層3層と井戸層2層とを、障壁層+井戸層+障壁層+井戸層+障壁層となるように積層して構成した。

【0063】

(p側キャップ層28)

次に、1050℃でバンドギャップエネルギーがp側光ガイド層8よりも大きく、かつ活性層6よりも大きい、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Al_{0.3}Ga_{0.7}Nよりなるp側キャップ層28を300オングストロームの膜厚で成長させる。このp側キャップ層28はp型不純物をドープした層としたが、膜厚が薄いため、n型不純物をドープしてキャリアが補償されたi型、若しくはアン

ドーピングとしても良く、最も好ましくはp型不純物をドーピングした層とする。p側キャップ層28の膜厚は $0.1\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは500オングストローム以下、最も好ましくは300オングストローム以下に調整する。 $0.1\mu\text{m}$ より厚い膜厚で成長させると、p型キャップ層28中にクラックが入りやすくなり、結晶性の良い窒化物半導体層が成長しにくいからである。Alの組成比が大きいAlGa_yN程薄く形成するとLD素子は発振しやすくなる。例えば、Y値が0.2以上のAl_yGa_{1-y}Nであれば500オングストローム以下に調整することが望ましい。p側キャップ層76の膜厚の下限は特に限定しないが、10オングストローム以上の膜厚で形成することが望ましい。

【0064】

(p側光ガイド層29)

次に、バンドギャップエネルギーがp側キャップ層28より小さい、Mgを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーピングしたp型Ga_yNよりなるp側光ガイド層29を $0.1\mu\text{m}$ の膜厚で成長させる。この層は、活性層の光ガイド層として作用し、n側光ガイド層26と同じくGa_yN、InGa_yNで成長させることが望ましい。また、この層はp側クラッド層30を成長させる際のバッファ層としても作用し、100オングストローム～ $5\mu\text{m}$ 、さらに好ましくは200オングストローム～ $1\mu\text{m}$ の膜厚で成長させることにより、好ましい光ガイド層として作用する。このp側光ガイド層は通常はMg等のp型不純物をドーピングしてp型の導電型とするが、特に不純物をドーピングしなくても良い。

【0065】

(p側クラッド層30)

次に、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドーピングしたp型Al_{0.2}Ga_{0.8}N層、20オングストロームと、Mgを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドーピングしたp型Ga_yN層、20オングストロームとを交互に積層してなる総膜厚 $0.8\mu\text{m}$ の超格子層よりなるp側クラッド層30を成長させる。この層はn側クラッド層25と同じくキャリア閉じ込め層として作用し、超格子構造とすることによりp型層側の抵抗率を低下させるための層として作用する。このp側クラッド層30の膜厚も特に限定しないが、100オングストローム以上、 $2\mu\text{m}$ 以下、さらに好ましくは500オン

グストローム以上、 $1\mu\text{m}$ 以下で成長させることが望ましい。このp側クラッド層の中央部の不純物濃度を大きくして、両端部の不純物濃度を小さくすることもできる。

【0066】

(p側コンタクト層31)

最後に、 Mg を $2 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなるp側コンタクト層10を150オングストロームの膜厚で成長させる。p側コンタクト層は500オングストローム以下、さらに好ましくは400オングストローム以下、20オングストローム以上に膜厚を調整すると、p層抵抗が小さくなるため閾値における電圧を低下させる上で有利である。

【0067】

反応終了後、反応容器内において、ウェーハを窒素雰囲気中、 700°C でアニーリングを行い、p層をさらに低抵抗化する。アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、図2に示すように、RIE装置により最上層のp側コンタクト層31と、p側クラッド層30とをエッチングして、 $4\mu\text{m}$ のストライプ幅を有するリッジ形状とする。

【0068】

リッジ形成後、図2に示すように、リッジストライプを中心として、そのリッジストライプの両側に露出したp側クラッド層30をエッチングして、n電極11を形成する第2の窒化物半導体層23の表面を露出させる。

【0069】

次にリッジ表面の全面にNi/Auよりなるp電極32を形成する。次に、図2に示すようにp電極32を除くp側クラッド層30、p側コンタクト層31の表面に SiO_2 よりなる絶縁膜35を形成し、この絶縁膜35を介してp電極32と電氣的に接続したpパッド電極33を形成する。一方先ほど露出させたn側コンタクト層4の表面にはWとAlよりなるn電極34を形成する。

【0070】

電極形成後、ウェーハのサファイア基板の裏面を研磨して $50\mu\text{m}$ 程度の厚さにした後、サファイアのM面でウェーハを劈開して、その劈開面を共振面とした

バーを作製する。一方、ストライプ状の電極と平行な位置でバーをスクライブで分離してレーザ素子を作製する。そのレーザ素子形状が図 2 である。なおこのレーザ素子を室温でレーザ発振させたところ、従来の 37 時間連続発振した窒化物半導体レーザ素子に比較して、閾値電流密度は 2.0 kA/cm^2 近くにまで低下し、閾値電圧も 4 V 近くになり、寿命は 500 時間以上に向上した。

【0071】

【実施例 5】

実施例 1 において、n 電極形成層 4 成長時に、Si を $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドープした GaN 層を 20 オングストローム成長させてなる第 1 の窒化物半導体層と、アンドープの $\text{Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ 層を 20 オングストローム成長させてなる第 2 の窒化物半導体層とのペアを 250 回成長させ、総膜厚 $1.0 \mu\text{m}$ (1000 オングストローム) の超格子構造よりなる n 電極形成層 4 を成長させる他は実施例 1 と同様にして行ったところ、実施例 1 とほぼ同様に良好な結果が得られた。

【0072】

【実施例 6】

実施例 6 は実施の形態 2 に基づく一実施例に係る LED 素子であって、以下のようにな作製される。

【0073】

まず、実施例 1 と同様にして、サファイア (C 面) よりなる基板 1 上に GaN よりなるバッファ層 2 を約 200 オングストロームの膜厚で成長させる。

次に、TMG のみ止めて、温度を 1050°C まで上昇させ、同じく原料ガスに TMG、アンモニアガスを用い、アンドープ GaN 層 41 を $1.5 \mu\text{m}$ の膜厚で成長させ、続いて 1050°C で、TMG、アンモニアガス及びシランガスを用い、Si を $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした n 型 GaN 層 42 を $2.35 \mu\text{m}$ の厚さに成長させる。

【0074】

続いて 1050°C で、TMG、アンモニアガス及びシランガスを用い、第 2 の窒化物半導体層 43b として Si を $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした GaN 層を 2

5オングストロームの膜厚で成長させ、続いて同濃度にてシランガスを止め第1の窒化物半導体層43aとしてアンドープGaN層を75オングストロームの膜厚で成長させる。これを1周期として15周期繰り返し、75オングストロームのアンドープGaN層からなる第1の窒化物半導体層と、SiドープGaNからなる25オングストロームの第2の窒化物半導体層とからなる1500オングストロームの厚さのn型超格子層43を形成する。

【0075】

次に、温度を880℃にして、 N_2 キャリアガスとし、TEG及び NH_3 を用いてGaNからなる200オングストロームの障壁層を成長させ、続いて温度を800℃にして、 N_2 キャリアガスとし、TEG、TMI及び NH_3 を用いて $In_{0.4}Ga_{0.6}N$ 層を30オングストロームの膜厚で成長させ、以下同様の成長を交互に繰り返すことにより、多重量子井戸構造を有する活性層44を成長させる。尚、この多重量子井戸構造を有する活性層44は、最外層を障壁層とする6層の井戸層と7層の障壁層からなり、合わせて1600オングストロームの厚さを有する。このGaNからなる障壁層の厚さは、好ましくは100～300オングストロームに設定され、さらに好ましくは200～300オングストロームに設定される。障壁層の厚さが100オングストローム以下では、発光出力が低下し、300オングストローム以上では、順方向動作電圧が上昇するからである。

【0076】

次に、温度を1050℃に上げ、TMG、TMA、アンモニア、 Cp_2Mg （シクロペンタジエニルマグネシウム）を用い、Mgを $1 \times 10^{20}/cm^3$ ドープしたp型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ よりなるp側クラッド層（p型AlGaN層）45を300オングストロームの膜厚で成長させる。

続いて1050℃で、TMG、アンモニア、 Cp_2Mg を用い、Mgを $1 \times 10^{20}/cm^3$ ドープしたp型GaNよりなるp側コンタクト層46を1500オングストロームの膜厚で成長させる。

【0077】

反応終了後、温度を室温まで下げ、さらに窒素雰囲気中、ウェーバを反応容器内において、700℃でアニーリングを行い、p型層をさらに低抵抗化する。

【0078】

アニーリング後、実施例1と同様にして、p電極9と、そのp電極9の上にボンディング用のAuよりなるpパッド電極10及びn電極11を形成する。最後にp電極9の表面を保護するためにSiO₂よりなる絶縁膜12を図1に示すように形成した後、ウェーハをスクライブにより分離して350 μ m角のLED素子とする。

【0079】

このLED素子は順方向電流20mAにおいて、順方向電圧V_f3.2Vで520nmの緑色の発光を示し、静電耐圧も従来のLED素子に比較して4倍以上であった。

【0080】

[実施例7]

実施例7は実施の形態3に基づく一実施例に係るLED素子であって、以下の点で実施例6と異なる他は、実施例6と同様に作製される。

すなわち、実施例7では実施例6と同様の条件で、アンドープGaN層41を0.5 μ mの膜厚で成長させた後、実施例6の第2の窒化物半導体層43bと同一条件で第2の窒化物半導体層53bを25オングストロームの膜厚で成長させ、続いて実施例6の第1の窒化物半導体層43aと同一条件でアンドープGaN層を75オングストロームの膜厚で成長させる。これを1周期として350周期繰り返し、75オングストロームのアンドープGaN層からなる第1の窒化物半導体層と、SiドープGaNからなる25オングストロームの第2の窒化物半導体層とからなる3.5 μ mの厚さのn型超格子層53を形成する。

【0081】

以下、実施例6と同様にして、多重量子井戸構造を有する活性層44、p側クラッド層（p型AlGaN層）45及びp側コンタクト層46を成長させて、アニーリングによりp型層をさらに低抵抗化し、さらに、p電極9と、pパッド電極10、n電極11及び絶縁膜12を形成して、ウェーハをスクライブにより分離して350 μ m角のLED素子とした。

【0082】

以上のように作製した実施例7のLED素子は順方向電流20mA、順方向電圧Vf3.4Vにて、520nmの緑色発光を示し、静電耐圧も従来のLED素子に比較して5倍以上であった。

【0083】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明の窒化物半導体素子では、基板と活性層の間に、複数の層が積層された超格子構造の前記n電極形成層を備えているので、LED、LD等の窒化物半導体素子の出力を向上させると共に、Vf、閾値電圧を低下させかつ素子の信頼性を向上させることができる。また本明細書ではLED、レーザー素子について説明したが、本発明は受光素子、太陽電池の他、窒化物半導体の出力を用いたパワーデバイス等、窒化物半導体を用いたあらゆる素子に適用することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態1に係る一実施例のLED素子の構造を示す模式断面図。

【図2】本発明の実施の形態1に係る他の実施例のLD素子の構造を示す模式断面図。

【図3】本発明の実施の形態2に係るLED素子の構造を示す模式断面図。

【図4】本発明の実施の形態3に係るLED素子の構造を示す模式断面図。

【符号の説明】

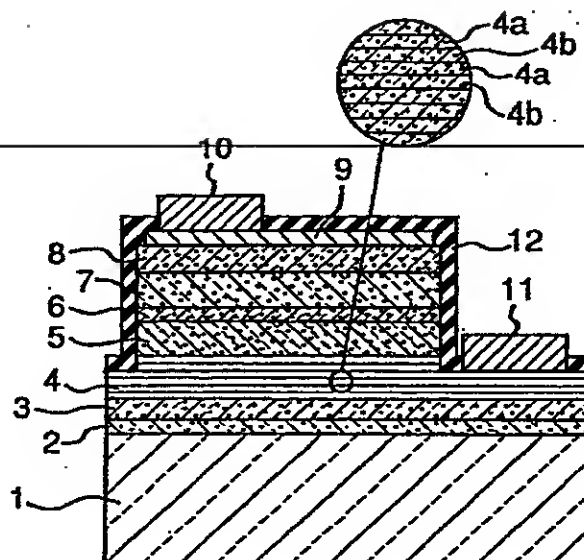
- 1 基板
- 2 バッファ層
- 3、5、22、24、41 アンドープ窒化物半導体層
- 4、23 超格子層からなるn電極形成層
- 6、44 活性層
- 7、45 p側クラッド層
- 8、46 p側コンタクト層
- 9 透光性p電極

- 10 p パッド電極
 - 11 n 電極
 - 12 絶縁膜
 - 42 超格子構造でない n 電極形成層
 - 43 n 型超格子層
-

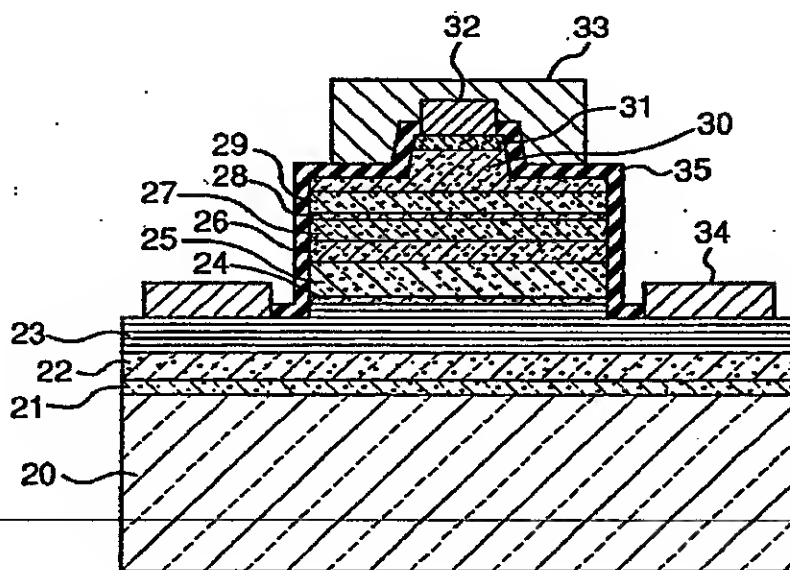
【書類名】

図面

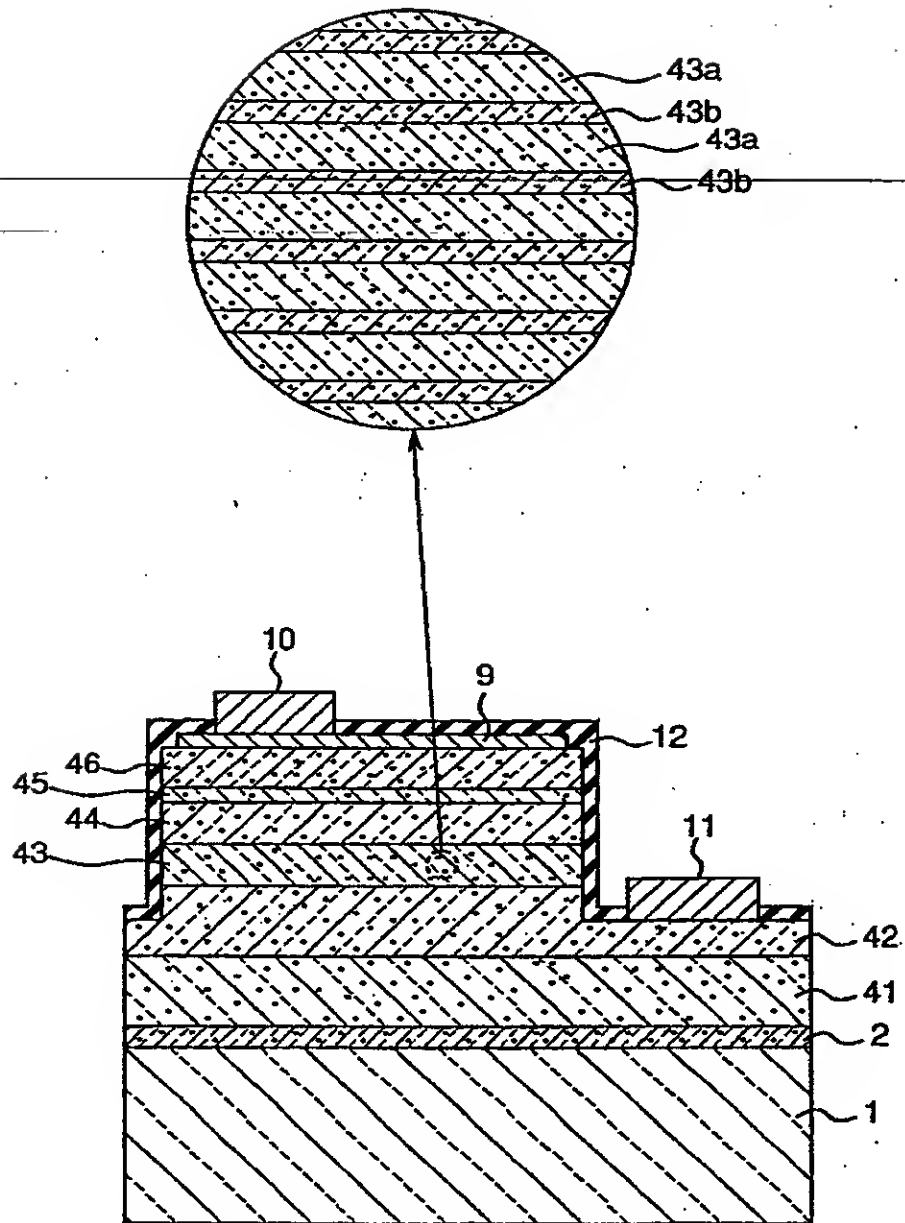
【図 1】



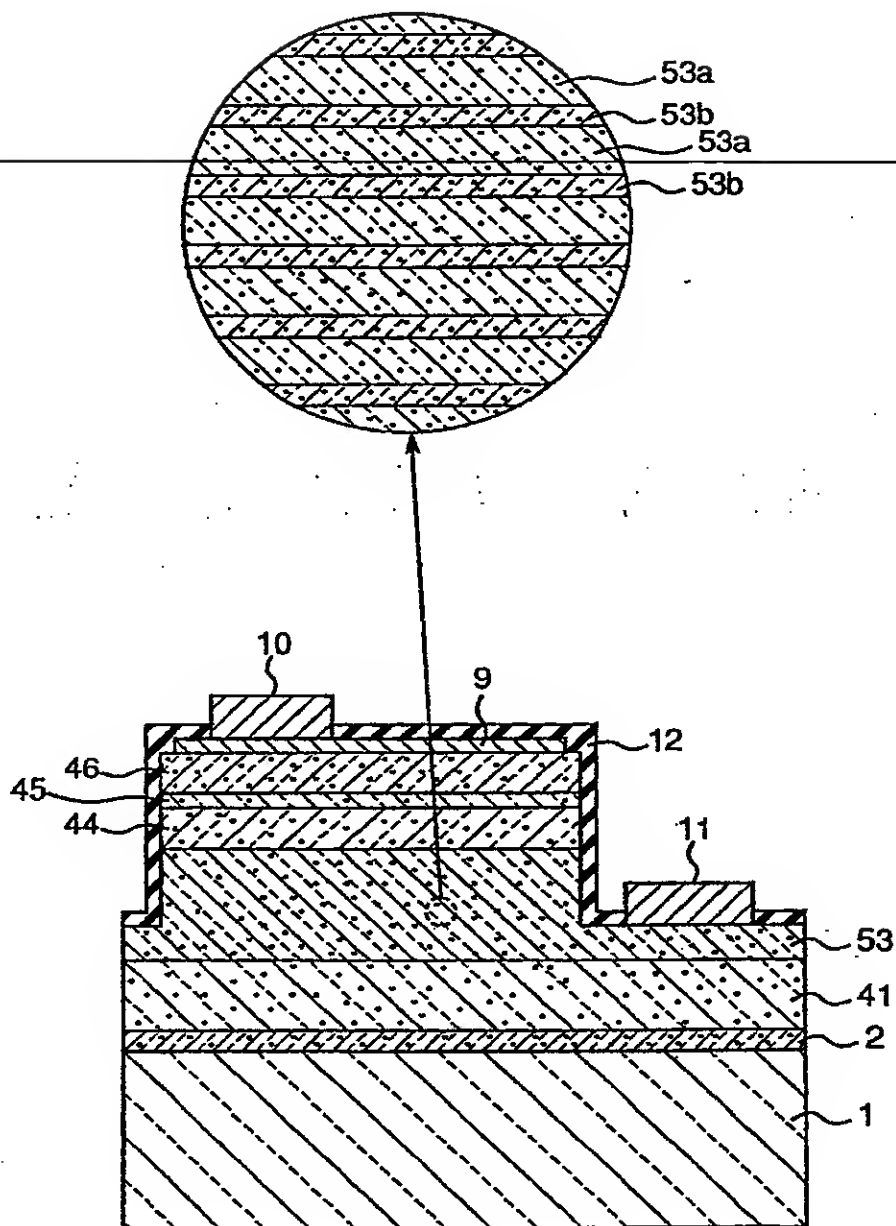
【図 2】



【図 3】



【図 4】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 LED及びLD等の窒化物半導体素子の出力を向上させると共に、 V_f 、閾値電圧を低下させて素子の信頼性を向上させる。

【解決手段】 基板と活性層の間に、少なくとも一方にはn型不純物がドーピングされた第1と第2の窒化物半導体層を含む複数の層が積層された超格子層を備えた。

【選択図】 図1

【書類名】 職権訂正データ
【訂正書類】 特許願

<認定情報・付加情報>

【特許出願人】

【識別番号】 000226057

【住所又は居所】 徳島県阿南市上中町岡491番地100

【氏名又は名称】 日亜化学工業株式会社

【代理人】 申請人

【識別番号】 100074354

【住所又は居所】 徳島県徳島市金沢1丁目5番9号

【氏名又は名称】 豊栖 康弘

【選任した代理人】

【識別番号】 100091465

【住所又は居所】 大阪府大阪市中央区城見1丁目3番7号 IMPビ
ル 青山特許事務所

【氏名又は名称】 石井 久夫

【先の出願に基づく優先権主張】

【出願番号】 平成10年特許願第176634号

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000226057]

1. 変更年月日 1990年 8月18日
[変更理由] 新規登録
住 所 徳島県阿南市上中町岡491番地100
氏 名 日亜化学工業株式会社